



XIN JISHU
GONGYI
CAILIAO
SHEBEI
ZAI JIANZHUYE
ZHONG DE YINGYONG

建筑工程施工现场专业人员继续教育培训教材

新技术 新工艺 新材料 新设备 在建筑业中的应用

吴志斌 主 编
杨平海 吴兴国 副主编

中国环境科学出版社

建筑工程施工现场专业人员继续教育培训教材

新技术、新工艺、新材料、新设备 在建筑业中的应用

吴志斌 主 编

杨平海 吴兴国 副主编

中国环境科学出版社·北京

内容简介

本书主要根据原建设部《关于进一步做好建筑业 10 项新技术推广应用的通知》的要求,参照其新技术的分类标准进行分类,有针对性地选取部分新技术内容编写。这些新技术既成熟可靠,又代表了现阶段我国建筑业技术发展的最新成就。全书共 7 章,对地基与基础工程、地下工程施工技术与地下防水工程、混凝土工程、钢筋工程、新型模板及脚手架应用技术、钢结构工程、建筑节能与环保工程等方面的新技术进行了阐述,具有较强的适用性和可操作性。

本书可作为建筑工程施工现场专业人员继续教育培训教材,同时也可作为从事建筑业、房地产业等工程建设和管理相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

新技术、新工艺、新材料、新设备在建筑业中的应用 / 吴志斌主编. — 北京:
中国环境科学出版社, 2010 (2010.8 重印)

建筑工程施工现场专业人员继续教育培训教材

ISBN 978-7-5111-0269-0

I. ①新… II. ①吴… III. ①新技术应用—建筑业—技术培训—教材 IV. ①TU-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 083323 号

责任编辑 高峰
责任校对 扣志红
封面设计 兆远书装

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112739(第三图书出版中心)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2010 年 7 月第 1 版
印 次 2010 年 8 月第 2 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 18.75
字 数 430 千字
定 价 46.00 元



【版权所有。未经许可请勿翻印、转载,侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社更换

编写组成员

主 编：吴志斌

副 主 编：杨平海 吴兴国

编写人员（以姓氏笔画为序）：

万常烜	邓燕华	王中华	甘 钧	吴志斌
吴兴国	杨平海	邹阳阳	沈 峰	李华文
陈乐意	周雅民	罗斌辉	姜安龙	秦建昌
章生财	黄国林	韩国平	舒奕荣	潘 辉
熊信福				

前 言

随着社会科学技术的发展,各种新材料、新工艺、新技术不断涌现,并迅速进入建筑领域,为了适应建筑业新技术的发展,原建设部于1994年下发了《关于建筑业1994年、1995年和“九五”期间重点推广应用10项新技术的通知》,并先后于1998年和2005年两次组织中国建筑科学研究院等单位适时对建筑业10项新技术从内容上进行了调整和补充,使其包含先进适用新技术的项目更多,内容更丰富。2005年版建筑业新技术以房屋建筑工程为主,突出通用技术,兼顾铁路、交通、水利等其他土木工程,技术既成熟可靠,又代表了现阶段我国建筑业技术发展的最新成就。

新时期,为了适应建筑企业管理人员专业素质的不断提高,根据各地培训机构和学院的要求,我们组织了有关专家和长期在施工一线的工程技术人员,遵循技术成熟可靠,实践性强和应用面广的原则,参照原建设部新技术的分类标准,选取了部分新技术内容编写了这本培训教材。教材主要讲述了地基与基础工程、地下工程施工技术和地下防水工程、混凝土工程、钢筋工程、新型模板及脚手架、钢结构工程、建筑节能与环保工程等方面的新技术,并对各项新技术的发展概况、技术内容、技术指标、施工方法、工程实践等分别做了重点阐述,对工程设计、施工、监理和管理具有现实的指导意义和重要的参考价值。

本书由吴志斌主编。全书共分为7章,其中,第一章由吴志斌、邹阳阳、万长焯编写;第二章由姜安龙、陈乐意、王中华编写;第三章由潘辉、舒奕荣、李华文编写;第四章由熊信福、罗斌辉、邓燕华编写;第五章由秦建昌、周雅民、杨平海编写;第六章由沈峰、甘钧、章生财编写;第七章由韩国平、吴兴国、黄国林编写。

在本书编写过程中,得到了南昌市建筑工程集团有限公司、南昌航空大学、华东交通大学理工学院、江西建设职业技术学院、江西中恒建设集团公司、南昌市建筑教育培训中心、贵州省建设教育协会等单位的大力支持和帮助,在此表示深深的谢意。

由于成书时间仓促和编者的水平所限,书中不足之处在所难免,敬请读者在使用过程中给予指正并提出宝贵意见。

吴志斌

2010年4月

目 录

第一章 地基与基础工程	1
第一节 夯实水泥土桩复合地基	1
第二节 水泥粉煤灰碎石桩(CFG)复合地基	9
第三节 复合土钉墙支护技术	17
第四节 灌注桩后注浆技术	23
第二章 地下工程施工技术与地下防水工程	29
第一节 盾构法施工	29
第二节 浅埋暗挖技术	76
第三节 逆作法施工技术	86
第四节 地下防水工程	103
第三章 混凝土工程	111
第一节 混凝土的概述	111
第二节 自密实混凝土	112
第三节 清水混凝土	116
第四节 超高泵送混凝土技术	123
第五节 劲钢混凝土	126
第六节 混凝土的耐久性	129
第七节 混凝土裂缝防治技术	135
第四章 钢筋工程	145
第一节 高效钢筋应用与发展	145
第二节 钢筋焊接网应用技术	149
第三节 粗直径钢筋连接技术	160
第五章 新型模板及脚手架应用技术	181
第一节 早拆模板成套技术	181
第二节 清水混凝土模板技术	184

第三节	附着式升降脚手架技术	204
第四节	外挂式脚手架和悬挑式脚手架应用技术	214
第六章	钢结构工程	219
第一节	钢结构概述	219
第二节	钢结构材料性能	223
第三节	钢材的种类和钢材的选择	229
第四节	钢结构的防腐及防火	232
第五节	钢结构施工方案	238
第七章	建筑节能与环保工程	255
第一节	概述	255
第二节	建筑节能施工	264
第三节	低碳建筑	283

第一章 地基与基础工程

根据原建设部《关于进一步做好建筑业 10 项新技术推广应用的通知》的要求,在地基与基础工程部分主要推广桩基新技术、地基处理技术、深基坑支护及边坡技术等,本章主要介绍夯实水泥土桩复合地基、水泥粉煤灰碎石桩(CFG)复合地基、复合土钉墙支护、灌注桩后注浆等方面的内容。

第一节 夯实水泥土桩复合地基

一、概述

夯实水泥土桩法是在 20 世纪 90 年代初由中国建筑科学研究院地基基础研究所发明研制的一种处理软弱地基的新工法,这段时期,国家进行大规模的基本建设,土木工程和交通工程蓬勃发展,特别是城市房屋密集、大型施工设备受限的旧城房屋改造工程的地基处理及交通沿线地区大量深厚不等的素填土或杂填土等软基处理(这类土除具有明显的地下水湿陷性外,其承载能力低,土的性状也十分复杂),选择一种经济、安全、合理的地基处理方法,显得尤为迫切,夯实水泥土桩法便应运而生。该方法施工简便灵活,受场地限制较小、速度快,无污染、造价低、质量易控制,自从该工法在工程实践中使用以来,立即被广大设计人员、建设单位所接受,而且由于夯实水泥土桩复合地基均匀性好、地基强度较高,现已用于小高层房屋的地基处理,在北京、河北、河南、甘肃、广东等地得到广泛应用。

二、夯实水泥土桩复合地基作用原理

夯实水泥土桩复合地基是由夯实水泥土桩、桩间地基土和桩顶散体材料构成的柔性褥层三部分组成,共同承担上部结构荷载,其承载和变形机理十分复杂。

(一) 夯实水泥土桩的作用机理

夯实水泥土桩是将水泥和土料在孔外充分拌匀然后回填孔内并强力夯实形成具有一定强度的水泥土加固体,在此过程中,水泥和土体发生了复杂的物理化学反应和夯实挤密作用。

1. 胶结作用

水泥与土体搅拌时,水泥颗粒表面的矿物很快与土体中的水发生水解和水化反应,生成氢氧化铁、含水硅酸钙,含水铝酸钙等各种水化物,这些水化物有的自身继续硬化,形成水泥石骨架;有的则与其周围具有一定活性的黏土颗粒反应,通过 Na^+ 、 K^+ 、 H^+ 之间的交换,使较小的、离散的黏土颗粒互相靠拢胶结,形成较大的土的团粒;另一方面,水泥水化反应生成的凝胶粒子比表面积较原来的水泥颗粒大 10 多倍,因而产生很大的表

面能,使之具有强烈的吸附活性,能把较大的土的团粒进一步胶结,形成水泥土的团粒结构,使水泥土的强度提高,此即水泥土的胶结强度。

2. 夯实挤密作用

水泥和土体在孔外拌和均匀形成的水泥土拌合料较为松散,土团之间孔隙较大,连接力微弱,在夯击动力作用下会重新进行排列,体积压缩,密度增大,形成夯实水泥土的密实强度。

(二) 桩间地基土的作用机理

夯实水泥土桩按照桩的成孔方式可分为挤土夯实水泥土桩和排土夯实水泥土桩两种。挤土夯实水泥土桩是利用振动沉管或冲击成孔,由成孔时的侧向挤压作用,使得桩间土得到第一次挤密,然后在桩孔内用水泥土拌合料分层夯填密实,夯填过程中又对桩间土进行第二次挤密。排土夯实水泥土桩是采用人工洛阳铲或钻机成孔,在成孔过程中并未对桩间土造成挤密,然后在孔内分层回填水泥土拌合料并夯击密实,使在夯填过程中对桩间土形成挤密效应。因此,不论是挤土还是排土夯实水泥土桩,其共同点是对桩间土都有侧向深层挤密加固作用,桩间土承载力得到提高,这一点与搅拌水泥土桩有显著区别,所以多数情况下夯实水泥土桩复合地基具有良好的承载性能,充分地发挥了桩间地基土的承载作用。

(三) 褥垫层的作用机理

在荷载作用下,增强体(桩体)和地基土体共同承担外部结构传来的荷载,这是复合地基的本质。然而如何设置增强体以保证增强体与天然地基土体能够共同承担上部结构荷载,或者如何设置增强体才能形成复合地基?大量的理论研究和试验研究表明,在建筑物基础和复合地基加固区之间设置柔性褥垫层不仅可以保证各类增强体与地基土体形成复合地基共同承上部荷载,而且可以有效地改善复合地基中浅层的受力状态,如减小桩土荷载分担比、提高桩间土的抗剪强度、提高增强体承受竖向荷载的能力等。

三、技术特性及适用范围

(一) 主要技术内容

夯实水泥土桩是人工或机械成孔,选用相对单一的土质材料,与水泥按一定配比,在孔外充分拌和均匀制成水泥土,分层向孔内回填并强力夯实,制成均匀的水泥土桩。通过在基础和桩顶之间设置一定厚度的褥垫层,使桩、桩间土和褥垫层一起构成复合地基。由于夯实中形成的高密度及水泥土本身的强度,与搅拌水泥土桩相比,夯实水泥土桩桩体有较高强度。夯实水泥土桩复合地基具有桩身强度均匀、施工速度快、不受场地的影响、造价低、无污染等特点。

(二) 技术指标

根据工程实际情况,夯实水泥土桩成孔可采用机械成孔(挤土、不挤土)或人工成孔,混合料夯填可采用人工夯填和机械夯填。技术指标为:

地基承载力:设计要求;

桩径:宜为 300 ~ 600 mm;

桩长:设计要求,人工成孔,深度不宜超过 6 m;

桩距:宜为 2~4 倍桩径;
桩垂直度:1.5%;
桩体干密度:设计要求;
混合料配比:设计要求;
混合料含水率:人工夯实土料最优含水率 $W_{op} + (1\% \sim 2\%)$;机械夯实土料最优含水率 $W_{op} - (1\% \sim 2\%)$;
混合料压实系数:0.93;
褥垫层:宜用中砂、粗砂、碎石等,最大粒径不宜大于 20 mm;
厚度 100~300 mm,夯实度 = 0.9。

实际工程中,以上参数根据地质条件、基础类型、结构类型、地基承载力和变形要求等条件或现场试验确定。

(三) 适用范围

适用于处理地下水位以上的粉土、素填土、杂填土、黏性土等地基,处理深度不宜超过 10 m。

四、施工工艺标准

(一) 工程范围

本工艺标准适用于工业与民用建筑地基处理采用夯实水泥土桩的工程。

(二) 施工准备

1. 材料要求

(1) 土料

土料中有机质含量不得超过 5%,不得含有冻土或膨胀土,使用时应过 10~20 mm 的筛。

(2) 混合料

根据室内配比试验,针对现场地基土的性质,选择合适的水泥品种混合料含水量应满足土料的最优含水率 W_{op} ,允许偏差不大于 $\pm 2\%$,土料与水泥应拌和均匀,水泥用量不得少于按混合料配比试验确定的重量。

2. 主要施工机具

(1) 成孔设备

0.6 t 或 1.2 t 柴油打桩机或自制锤击式打桩机,也可选用洛阳铲,冲击钻机。

(2) 夯实设备

卷扬机、提升式夯实机或偏心轮类杆式夯实机。

3. 作业条件

(1) 岩土工程勘察报告,基础施工图纸,施工组织设计齐全;

(2) 建筑场地地面上、地面下及高空所有障碍物清除完毕,现场符合“三通一平”的施工条件;

(3) 轴线控制桩及水准基点桩已经设置并编号,且经复核,桩孔位置已经放线并标识桩位;

(4) 已进行成孔,夯填工艺和挤密效果试验,确定有关的施工工艺参数(分层填料厚

度,夯击次数和夯实后的干密度,打桩次序),并对试桩进行了测试,承载力、挤密效果等符合设计要求。

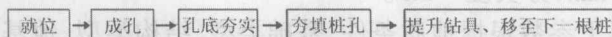
4. 作业人员

(1) 主要作业人员:机械操作人员、普工。

(2) 施工机具应由专人负责使用和维护,大、中型机械特殊机具需持证上岗,主要作业人员已经过安全培训,并接受了施工技术交底(作业指导书)。

(三) 施工工艺

1. 工艺流程



2. 操作工艺

(1) 成孔

夯实水泥土桩的施工,应按设计要求选用成桩工艺,挤土成孔可选用沉管、冲击等方法,非挤土成孔可选用洛阳铲、螺旋钻等方法。

(2) 材料搅拌

根据室内配比试验,针对现场地基土的性质,选择合适的水泥品种混合料含水量应满足土料的最优含水率 W_{op} ,允许偏差不大于 $\pm 2\%$,土料与水泥应拌和均匀,水泥用量不得少于按混合料配比试验确定的重量。

(3) 夯填

夯填桩孔时,宜选用机械夯实,分段夯填时,夯锤的落距和填料厚度应根据现场试验确定,混合料的压实系数不应小于 0.93。孔内填料前孔底必须夯实,桩顶夯填高度应大于设计桩顶标高 200 ~ 300 mm。

(四) 质量标准

1. 主控项目及一般项目

- (1) 水泥及夯实用土料的质量应符合设计要求;
- (2) 施工中应检查孔位、孔深、孔径、水泥和土的配比、混合料含水量等;
- (3) 施工结束后,应对桩质量及复合地基承载力做检验,褥垫层应检查其夯实填度;

(4) 夯实水泥土桩的质量检验标准应符合表 1.1.1 的规定。

2. 特殊工艺或关键控制点的控制

3. 质量记录

- (1) 水泥的出厂合格证及复检证明;
- (2) 试桩施工记录、检验报告;
- (3) 施工记录;
- (4) 施工布置示意图。

(五) 施工注意事项

1. 邻桩孔颈缩或坍孔

夯实水泥土桩应打孔后及时填孔,若夯填速度较慢,宜采用间隔打法,以免因振动、

表 1.1.1 夯实水泥土桩复合地基质量检验标准

项目	序号	检查项目	允许偏差或允许值		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	桩径	mm	-20	用钢尺量
	2	桩长	mm	+500	测桩机深度
	3	桩体干密度	设计要求		现场取样检查
	4	地基承载力	设计要求		按规定办法
一般项目	1	土料有机质含量	%	≤5	焙烧法
	2	含水率(与最优含水率比)	%	±2	烘干法
	3	土料粒径	mm	≤20	筛分法
	4	桩位偏差	满堂布桩≤0.40D 条基布桩≤0.25D		用钢尺量,D 为桩径
	5	水泥质量	设计要求		查产品合格证书或抽样送检
	6	桩孔垂直度	%	≤1.5	用经纬仪测桩管
	7	褥垫层夯填度	≤0.9		用钢尺量

表 1.1.2 特殊工艺或关键控制点的控制

序号	关键控制点	控制措施
1	桩径、搅拌的均匀性	成桩 7 d 后,采用浅部开挖桩头,检查
2	桩径、搅拌的均匀性	成桩 3 d 内,用轻型动力触探(N10)检查每米桩身的均匀性
3	承载力	进行复合地基载荷试验,单桩载荷试验

挤压造成邻桩孔颈缩或坍孔。

2. 地基土与勘察资料不符

施工过程中,应有专人监测成孔及回填夯实的质量,并作好施工记录,如发现地基土质与勘察资料不符时,应查明情况,采取有效处理措施。

(六) 成品保护

(1) 基础底面以上应预留 0.7 ~ 1.0 m 厚的土层,待施工结束后,将表层挤松的土挖除,或分层夯压夯实后,立即进行下道工序施工。

(2) 雨季或冬季施工,应采取防雨,防冻措施,防止水泥料受雨水淋湿或冻结。

(七) 职业健康安全与环境管理

(1) 施工过程危害及控制措施

(2) 环境因素辨识及控制措施

五、工程实例

(一) 工程概况

某生活区由 10 栋多层住宅楼组成,拟建场地征用前为水稻田,地势低洼,地下水位

表 1.1.3 施工过程危害及控制措施

序号	作业活动	危险源	控制措施
1	现场管理	人员伤亡	成孔时,距振动锤,落距,冲击锤 6 m 范围内,不得有人员走动或进行其他作业
2	桩机成孔	人员伤亡或设备损坏	振动或锤击沉桩机,冲击机操作时,应安放平稳,防止成孔时,突然倾倒或锤头突然下落,造成人员伤亡或设备损坏
3	桩架装拆	高空坠落	在桩架上装拆维修机件进行高空作业时,必须系安全带
4	成孔	人员或物件掉入孔内	已成的孔尚未填夯灰土前,应加盖板,以免人员或物件掉入孔内

注:表中内容仅供参考,现场应根据实际情况重新辨识。

表 1.1.4 环境因素辨识及控制措施

序号	作业活动	环境因素	控制措施
1	水泥进场、垃圾出场	扬尘	水泥运输表面覆盖
			建筑垃圾运输表面覆盖
			道路要经常维护和洒水,防止造成粉尘污染
2	现场清理	建筑垃圾	施工现场应设合格的卫生环保设施,施工垃圾集中分类堆放,严禁垃圾随意堆放和抛撒
3	机械使用	废油	施工现场使用和维修机械时,应有防滴漏措施,严禁将机油等滴漏于地表,造成土地污染

注:表中内容仅供参考,现场应根据实际情况重新辨识。

较高,各土层含水量高,孔隙比较大,具有较高的压缩性。设计要求地基承载力标准值不低于 160 kPa,天然地基承载力不能满足设计要求,该工程采用水泥土搅拌桩复合地基进行地基处理。

(二) 场地土的物理力学性质

该场地位于长江冲积漫滩上,地基各土层分布情况以及物理力学指标见表 1.1.5。

(三) 复合地基沉降计算结果的比较

1. 复合地基载荷试验

为了确定复合地基的设计参数。在场地进行载荷试验,试验区桩长 15.5 m,桩端落在透镜体上,在这个试验区进行了天然地基、单桩、单桩复合地基、六桩复合地基的试验,试验参数见表 1.1.6。

由表 1.1.5 与表 1.1.6 比较可以看出,复合地基的承载力比天然地基的承载力提高了 3 倍多,这说明水泥土桩复合地基加固后地基承载提高幅度比较大,效果明显。现场试验结果表明,复合地基承载力标准值在 175 kPa 以上,符合了设计的标准。

2. 实测值与计算分析结果的比较

在目前的工程实践中,复合地基的变形多采用经验公式估算,由于各公式所作的简

表 1.1.5 场地土物理力学指标

土层 编号	深度 / m	厚度 / m	天然重度 / (kN / m ³)	孔隙比	压缩模量 / MPa	各层土承载力 标准值 / kPa
②-1 粉质黏土	1	1	19.1	0.89	4.46	90
②-2 淤泥粉质黏土	11	10	18.3	1.04	2.82	60
B 粉土	12	1	18.8	0.89	6.16	105
②-2 淤泥粉质黏土	14.2	2.2	18.3	1.04	2.82	105
③粉土	16.1	1.9	18.8	0.91	8.12	130
②-2 淤泥粉质黏土	17.7	1.6	18.3	1.04	2.82	105
②-3 粉土	21.3	3.6	18.7	0.90	8.00	135
①粉质黏土	21.7	0.4	18.9	0.93	3.5	100
②-3 粉土	22.3	0.6	18.7	0.90	8.00	135
②-4 粉质黏土	25	2.7	18.7	0.94	4.62	110

表 1.1.6 试验参数表

类型	桩长 / m	桩径 / mm	载荷板尺寸 / m	承载力标准值 / kPa
天然地基	15.5	400	—	60
单桩复合地基	15.5	400	1.2 × 1.2	315
水泥土单桩	15.5	400	—	250
六桩复合地基	15.5	400	2.0 × 3.6	325

化有各自的适用条件,因而对于某种类型的复合地基其计算精度不尽相同。

为验证前面两种有限元分析法计算的正确性,下面按照实际情况建立模型,与实测值进行比较。计算模型参数如下:

承台参数:承台的弹性模量 $E = 3.0 \times 10^4$ kPa,泊松比 $\mu = 0.20$,承台厚度为 0.50 m,面积与载荷板面积相同。垫层参数:垫层为碎石垫层,弹性模量 $E = 20$ MPa,泊松比 $\mu = 0.25$,厚度为 0.20 m。

复合地基模型参数:采用 Duncan—Chang 模型参数。
土体参数:根据地质勘察报告,各土层性质、厚度不一。为简化计算,典型的地基可按模量等效划分为 ①—粉质黏土、②—淤泥粉质黏土、③—粉土、④—粉质黏土。各土层厚度分别为 1 m,14.3 m,1.9 m,10 m,压缩模量见表 1.1.5,泊松比 $\mu = 0.35$ 。土层计算深度 31 m,水平计算宽度为 10 倍载荷板宽度。

结合以上参数分别建立有限元模型,计算天然地基、单桩复合地基、六桩复合地基的荷载—沉降曲线如图 1.1.1,图 1.1.2,图 1.1.3,图 1.1.4 所示,并将计算结果与实测值进行比较。可以看出,采用有限元方法计算复合地基沉降变形与实测值吻合得比较好,能够较好地符合现场试验研究的基本结论和理论分析。

(四) 结语

以往对于复合地基的设计大多基于规范方法,而采用规范方法进行设计所得到的

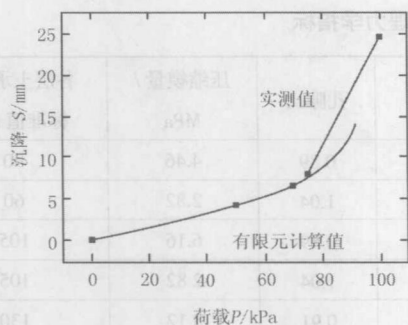


图 1.1.1

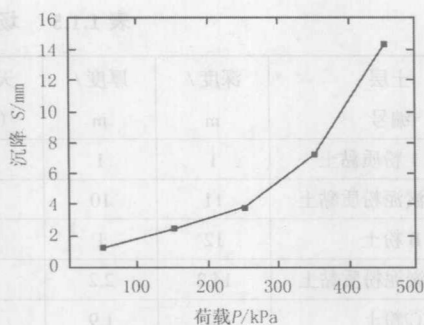


图 1.1.2

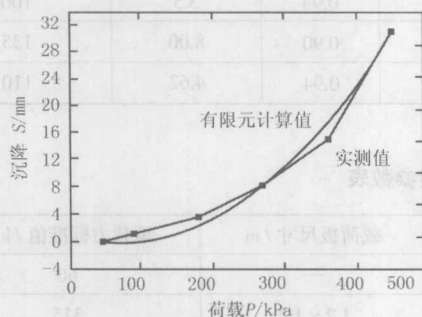


图 1.1.3

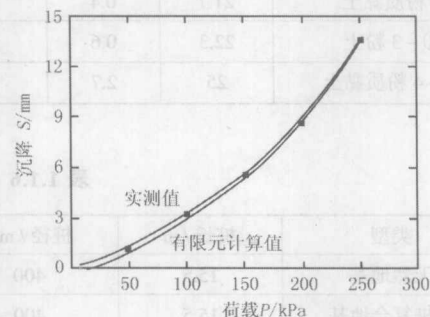


图 1.1.4

复合地基的沉降量往往与实测结果相差几十倍甚至几百倍, 严重影响了该方法在实际工程中的应用。究其原因, 主要是由于复合地基工作机理的复杂, 而规范方法是基于经验的一种方法, 不能反映实际工程中复合地基的变形特性。目前对水泥土桩复合地基进行沉降预测最好的方法就是有限单元法, 结合工程实例, 通过有限元法对天然地基、单桩、六桩水泥土搅拌桩复合地基进行了沉降计算。通过与实测值比较, 也证明了有限元分析方法的准确性, 为以后工程应用提供了依据。除此之外, 利用有限元分析程序分析了桩体的刚度、置换率、褥垫层厚度、褥垫层刚度等因素对复合地基变形与承载特性的影响, 深刻揭示了水泥土搅拌桩复合地基的工作机理, 并得到如下重要结论:

- (1) 对水泥搅拌桩复合地基的试验室模型—水泥土复合试样的静力三轴试验表明: 采用水泥搅拌桩技术加固软土地基可以提高原有软土的工程力学特性。
- (2) 在水泥土复合试样的动力试验中, 复合试样的动弹模量 E 和阻尼比 D 及应变水平 ε 的相关曲线与纯黏土的有关曲线形状基本一致, 只是在相同应变时数值大小不同。
- (3) 在相同的应变水平下, 随着围压的增大, 动弹模量增加而阻尼比减小。当 ε 增大时, E 随之减小而 D 则增大。
- (4) 只有当水泥土搅拌桩复合地基中褥垫层厚度合理才能够充分发挥桩的承载力, 才能够充分利用桩间土的承载力。
- (5) 在柔性基础下随褥垫层模量的增加有助于上部荷载向桩顶集中。

(6) 桩长、面积置换率影响着桩间土的承载力的有效发挥以及桩间土应力的变化。迄今为止,本文所研究的内容局限于静力荷载作用下复合地基沉降预测。而我国是一个多地震的国家,探讨地震荷载作用下复合地基与上部结构共同作用机理,建立水泥土搅拌桩复合地基的抗震设计规范是十分必要的。

第二节 水泥粉煤灰碎石桩(CFG)复合地基

一、概述

水泥粉煤灰碎石桩简称 CFG 桩。它是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑和砂加水拌和形成的高黏结强度桩,和桩间土、褥垫层一起形成复合地基。CFG 桩复合地基试验研究是原建设部“七五”计划课题。于 1988 年立题进行试验研究,并应用于工程实践。CFG 桩复合地基试验研究成果于 1992 年由原建设部组织鉴定,专家们一致认为:该成果具有国际领先水平,推广意义很大。

CFG 桩复合地基成套技术,1994 年被原建设部列为全国重点推广项目,被国家科委列为国家级全国重点推广项目。1997 年被列为国家级工法,并制定了中国建筑科学研究院企业标准,现已列入国家行业标准《建筑地基处理技术规范》。

为了进一步推广这项新技术,国家投资对施工设备和施工工艺进行了专门研究,并列入“九五”国家重点攻关项目。1999 年 12 月通过了国家验收。该技术已在全国 23 个省、市广泛推广应用。据不完全统计,该技术已在 1 000 多个工程中应用。与桩基相比,由于 CFG 桩桩体材料可以掺入工业废料粉煤灰、不配筋以及充分发挥桩间土的承载力。工程造价一般为桩基的 $1/3 \sim 1/2$,经济效益和社会效益非常显著。

CFG 桩复合地基 20 世纪 80 年代多用于多层建筑处理,目前大量用于高层和超高层建筑地基的加固。桩身强度等级多在 C15 ~ C25 之间。该技术已在北方地区的高层建筑地基处理中应用,仅北京地区已有近 300 余栋高层建筑地基处理采用了 CFG 桩加固技术,其中绝大多数层高为 20 ~ 30 层,31 ~ 35 层的超高层建筑有 15 栋,由于该技术具有施工速度快、工期短、质量容易控制、工程造价低廉等特点,目前已成为北京及周边地区应用最普遍的地基处理技术之一。

二、水泥粉煤灰碎石桩复合地基作用原理

(一) 一般原理

CFG 桩复合地基的加固机理包括置换作用和挤密作用,其中以置换作用为主。当 CFG 桩用于挤密效果好的土层时,既有置换作用,又有挤密作用,当用于挤密效果差的土层时,只有置换作用。

CFG 桩与碎石桩的差别之一在于 CFG 桩可全长受力,桩土应力比大,而且具有很大的可调性,在软土中可高达 100 MPa 左右。CFG 桩复合地基中由桩承担的荷载一般为 40% ~ 75%,提高承载力的幅度可达 4 倍或更高。

(二) 褥垫与 CFG 桩的共同作用

褥垫由散体材料组成,可提供向上贯入的条件来调整桩土应力比,实现桩土协调

变形。

CFG 桩褥垫有如下几种作用:

(1) 保证桩、土共同承担荷载

在桩基中,当承台承受竖向荷载时,对摩擦桩,承台产生沉降,使桩间土发挥一定的承载能力,且变形越大,桩距越大,作用越明显。但与桩间土承载能力相比,所占比例很小;对端承桩,承台沉降变形一般很小,桩间土承载能力很难发挥。

CFG 桩复合地基的设计原则是充分利用桩间土的垂直和水平承载能力。由于 CFG 桩复合地基的置换率一般不大于 10%,其余不小于 90%的基底面积为桩间土,总荷载扣除桩间土承担的荷载后就是 CFG 桩应承担的荷载。显然,遵循这一设计原则,可大量减少桩的数量,再加上 CFG 桩不消耗钢筋,桩体利用工业废料和石屑作为掺合料,水泥用量少,可大大降低工程造价。

(2) 减少基础底面的应力集中

根据实测的桩土应力比 n 与褥垫层厚度 ΔH 的变化关系,当褥垫层厚度很小时,桩对基础底面产生应力集中。但当褥垫层厚度大于 10 cm 时,应力集中明显降低(桩土应力比约为 6),当褥垫层厚度为 30 cm 时,桩土应力比降为 1.23。

由有关试验测得的结果,当荷载一定时,褥垫层越厚土承担的荷载越多;褥垫厚度一定时,荷载越大,桩承担的荷载所占比例增大。

褥垫层厚度可以调整桩、土水平荷载分担比有关实验表明,褥垫厚度越大,桩顶水平位移越小,当褥垫层厚度不小于 10 cm 时,桩体不会发生水平折断。

(三) CFG 桩荷载传递特征

桩基中,桩顶以下桩各部位的位移都大于相应部位土的位移,桩侧土体对桩产生与桩位移相反方向的侧阻力,即正摩擦力。桩的最大轴力发生在桩的顶部。

CFG 桩复合地基则不同,任一荷载下桩顶的沉降、桩间土表面以及基础的沉降均不相同。

三、技术特性及适用范围

(一) 主要技术特性

水泥粉煤灰碎石桩复合地基是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂加水拌和形成的高粘结强度桩(简称 CFG 桩),通过在基础和桩顶之间设置一定厚度的褥垫层保护桩、土共同承担荷载,使桩、桩间土和褥垫层一起构成复合地基。桩端持力层宜选用承载力相对较高的土层。水泥粉煤灰碎石桩复合地基具有承载力提高幅度大,地基变形小等特点,并且具有较大的适用范围。

(二) 技术指标

根据工程实际情况,水泥粉煤灰碎石桩常用的施工工艺包括长螺旋钻孔、管内泵压混合料成桩、振动沉管灌注成桩和长螺旋钻孔灌注成桩。主要技术指标为:

地基承载力:设计要求;

桩径:宜取 350 ~ 600 mm;

桩长:设计要求,桩端持力层应选择承载力相对较高的土层;

桩身强度:混凝土强度满足设计要求,通常 $\geq C15$;